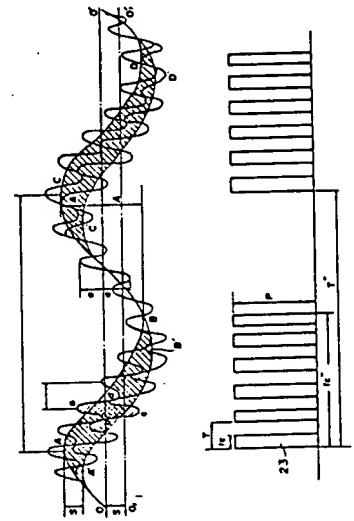


(54) SUPERPOSED VIBRATION CUTTING METHOD

(11) 62-140701 (A) (43) 24.6.1987 (19) JP  
(21) Appl. No. 60-280896 (22) 16.12.1985  
(71) JUNICHIRO KUMABE (72) JUNICHIRO KUMABE  
(51) Int. Cl. B23B1/00

**PURPOSE:** To enable precise cutting, by making a cutting tool to vibrate with a high frequency of an ultrasonic wave band in a back component direction, superposing different frequencies, and performing high speed cutting, for instance, at 200~300m/min so as to produce needle-shaped chips for reducing cutting resistance.

**CONSTITUTION:** A cutter is given a vibration of frequency (f) and amplitude (a) by an ultrasonic wave oscillator, vibrator and horn in a back component direction, and a high speed cutting is performed by giving a vibration of frequency F and amplitude A produced by driving of an electro-hydraulic equipment superposedly given. In case of a conventional cutting,  $OO'$  proceed by a distance of S during one turn, and the areas corresponding to areas  $OO'O_1O_1'$  are continuously and evenly cut, while, in case of a vibration cutting of F.A, the area is divided into intermittent areas AA'BB' and in case of a vibration cutting of  $(F \cdot A + f \cdot a)$  the area is finely divided into micro areas abcd and is cut. The cutting time  $t_c$  of an intermittent cutting force wave form 23 becomes  $1/2$  of a cycle T and a precise cutting is enabled by drastic decreasing of the frictional resistance and also by the decreasing of the cutting force and displacement amount.



JAPAN 62-140702  
APP. NO. 60-280896  
12/16/85

82-  
904

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭62-140701

⑬ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和62年(1987)6月24日

B 23 B 1/00

A-8107-3C

審査請求 有 発明の数 1 (全9頁)

⑮ 発明の名称 重畳振動切削方法

⑯ 特 願 昭60-280896

⑰ 出 願 昭60(1985)12月16日

⑱ 発 明 者 隈 部 淳 一 郎 宇都宮市南大通り1-4-20 チサンマンション701号室

⑲ 出 願 人 隈 部 淳 一 郎 宇都宮市南大通り1-4-20 チサンマンション701号室

⑳ 代 理 人 弁理士 伊 東 貞 雄

明 細 書

1. 発明の名称

重畳振動切削方法

2. 特許請求の範囲

工具又は工作物を切削方向と直角方向に超音波振動させ、更に工具又は工作物の切削方向に異なる振動を与えて切削し、切り屑を寸断微細化する如くした重畳振動切削方法。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は切り屑を微細化して切削する重畳振動切削方法に関する。

(従来技術)

切削工具を切削方向に振動数  $f$ 、振幅  $a$  で振動させ、 $v < 2\pi af$  の切削速度  $v$  で切削し、流れ型の連続した切り屑を生成するパルス切削力波形によって精密切削する振動切削方法は本出願人が発明し公知である。

その後本出願人はさらに切削力を軽減して、超精密切削を可能とする方法として、上記の連

続パルス切削力波形を規則的に間引きした、断続パルス切削力波形による重畳振動切削方法を発明した。これは、工具切刃を切削方向と同方向に可聴波域の低い振動数  $F$  と振幅  $A$  および超音波域の高い振動数  $f$  と振幅  $a$  で振動させ、 $V < 2\pi af$  の比較的低い切削速度  $V$  で切削し、断続パルス切削力波形を作用させて超精密切削するシステムである。

(発明が解決しようとする問題点)

しかし乍ら上記従来技術に於ては切削抵抗を充分小さくすることができず、従って高速切削ができず切削時間も長くなり切削能率を向上できないという問題点があった。

(問題点を解決するための手段)

本発明は前記切削工具を振動させたときの振動速度と切削速度との関係に着眼してなされたもので、2つの発明でパルス切削力波形による精密切削方法のすべては究明・考案され尽くされたように考えていたが、その後の研究によって、切削工具切刃の振動運動軌跡の選定によって切

り屑を寸断してパルス切削力波形を発生させて精密切削する切削システムがあることが究明された。すなわち、背分力方向に切削工具切刃を超音波域の高い振動数  $f$  と振幅  $a$  で振動させ、切削工具逃げ面が工作物に接触しないように例えば  $200 \sim 300 \text{ m/min}$  の速い切削速度で切削することによって切り屑が細かく寸断され、パルス切削力波形が作用して精密切削が実現することが発明された。さて、超精密切削するためには工作物に作用する切削力を極力軽減するのが必要条件である。切り屑を微細粉砕してこの条件を満足させて工夫・考案したのが本発明である。すなわち、切削工具を背分力方向に超音波域の高い振動数  $f$  と振幅  $a$  で振動させ、さらに背分力方向に  $F < f$  の振動数  $F$  と振幅  $A$  の振動変位を重ねて切削速度を例えば  $200 \sim 300 \text{ m/min}$  で高速切削し、その断続パルス切削力波形によって精密切削する切り屑を粉砕して重畳振動切削する方法と装置を発明した。前述の重畳振動切削における  $20 \text{ m/min}$  以下の低い切削速度と切れ

型の連続した切り屑に対して、 $200 \sim 300 \text{ m/min}$   $\sim 500 \text{ m/min}$  という速い切削速度と粉状あるいは針状のバラバラの切り屑を生成して切削する点を特徴とする切削方法である。

#### (実施例)

本発明の原理を第1図によって説明する。第1図は旋削加工における工具-工作物振動系を示す。この第1図によって背分力によって動きまわる工作物の挙動がわかり、その解析を進めることによって精密加工技術を創案することができる。第1図において、ばね  $k$  およびダッシュポット  $c$  を考慮する必要のない状態とすれば表面粗さ  $\approx 0$ 、真円度  $\approx 0$ 、円筒度  $\approx 0$  という超精密円筒加工が実現する。実際の工作機械はこの  $k$  および  $c$  を無視できない状態で組立てられている。その旋盤を用いて旋削加工するとき第2図(a)のように  $P + p \sin \omega_n t$  の切削力波形が作用すると、工作物の背分力方向の変位  $x$  は、 $\omega_n \gg \omega$  のとき  $x = \frac{P}{K}$  となり、工作物の時間的変動がなくなり静荷重  $p$  のみが作用したときの

静的変位となって精密加工を可能とする。この考え方によるのが慣用高速切削である。この第2図(a)の波形に対して、第2図(b)のように、作用時間  $t_c$ 、周期  $T = 1/f = \frac{2\pi}{\omega}$  のパルス切削力  $P$  が工作物に作用すると、工作物の背分力方向の変位  $x$  は、 $\omega \gg \omega_n$  のとき  $x = \frac{1}{T} \times \frac{P}{K}$  となり、工作物の時間的変動がなくなり、静的変位となり、しかも第2図(a)の  $t_c/T$  にその変位量が減減し、精密加工を実現させる。これが振動切削である。

この第2図(b)の波形による切削方法に続いて第2図(c)のように連続パルス切削力波形を間引きした断続パルス切削力波形による切削方法を発明した。この断続パルス切削力の発生は第2図(b)の作用時間  $t_c$  のパルスを第2図(c)のようにさらに細分割することと第2図(d)のように第2図(b)におけるパルスを作用させたあとのパルスを間引いた波形を周期  $T''$  をもって繰返すことなどによって得られる。第2図(c)においてこのときの等価的な切削力  $P'$  は、

切削時間を  $t_c'$  とすると、 $P' = P \times \frac{t_c}{T}$  となり、工作物の背分力方向変位  $\Delta x$  は、周期  $T' = \frac{2\pi}{\omega'}$  としたとき、 $\omega' > \omega \gg \omega_n$  において  $\Delta x = \left( \frac{1}{T'} \times \frac{t_c}{T} \right) \times \frac{P}{K}$  となる。すなわち、第2図(c)の波形とすることによって第2図(b)のときの変位の  $\frac{1}{T}$  にその変位を軽減させることができる。そして、変位  $\Delta x$  は第3図(a)のように時間軸に平行な関係を示し、工作物は振れ動かなくなり、超精密切削を可能とする。

第2図(d)は  $\omega' < \omega_n$  の場合に多く生ずる。工作物の挙動は第3図(b)のようになる。工作物は図示のように揺れ動くが、工具刃先は工作物が零点付近においてのみ接触し、あたかも工作物が静止しているときとほぼ同じ状態のときに切り屑を生成する切削機構となる。このときの切削力  $P'' = \frac{1}{T} \times P$  であるため、 $F \cdot A$  のみとして振動切削して  $p$  を直接作用させたときの  $t_c/T$  にその変位量が減少し超精密加工を可能とする。

以下、図示した実施例に基づいて具体的に説

明する。第4図、第5図に於てバイトシャンク1は振動子4およびホーン5による励振振動数20KHzで縦振動し、締付金具11、12でそのノードを利用して固定し、締付ボルト13でバイトホルダ10に固定する。その先端に取付けられたバイトチップ2は矢印3の方向に振動数 $f$ 、振幅 $a$ で超音波振動する。そして、ホーン5のノード端面にバイトホルダ10への取付け板6を固定し、この縦振動系バイトをバイトホルダに固定する。バイトホルダ10は、球あるいはころ9で摩擦少く旋盤往復台7上に取りつけた案内面8上を摺動することができる。旋盤往復台上には、制御装置18によって駆動されるサーボ弁17および油圧装置19によって駆動されるアクチュエータ16よりなる電気-油圧装置を取付ける。バイトホルダ10と電気-油圧装置とを連結し、電気-油圧装置を駆動することによって、バイト刀先先端を正弦波形で振動数 $F$ を例えば100Hz、振幅 $A$ を例えば片振幅0.1mmで矢印方向20の方向に振動させるこ

を微小面積 $a b c d$ 群で細分割してこれを切り屑として生成する切削機構となる。すなわち、慣用切削では $\overline{00'}$ と距離 $S$ の平行な直線 $\overline{0_1 0_1'}$ との間の面積 $00' 0_1 0_1'$ に相当する部分を連続して一様に切削することに対して、 $F \cdot A$ の振動切削では断続する面積 $A A' B B'$ に分割し、 $(F \cdot A) + (f \cdot a)$ の振動切削ではこの面積 $A A' B B'$ を微小面積 $a b c d$ に小刻みに細分割して切削することとを特徴とする。このときの微小面積 $a b c d$ の切削時間 $t_c$ は $T = 1/f$ の1/2の時間となる。パルス切削力を $P$ として本発明における断続パルス切削力波形23を図示すると、第8図のようになる。

すなわち、それぞれの切削時間と周期は $t_c = \frac{1}{20.000} \times \frac{1}{2}(S)$ 、 $T = \frac{1}{20.000}(S)$ 、 $t_c' = \frac{1}{100} \times \frac{1}{2}(S)$ 、 $T' = \frac{1}{100}$ となる。前述した切削力 $P'$ は $\frac{1}{2}P$ となって $F \cdot A$ のみの振動切削のときの1/2にその変位量が減少することになる。このとき、 $t_c = \frac{1}{20.000} \times \frac{1}{2}S$ という極めて短い切削時間で小刻みに切削すると、パルス

とができる。一方、振動数 $f = 20\text{ KHz}$ の振幅 $a$ に対しては超音波発振機15を操作して最高片振幅 $30\mu\text{m}$ が得られる。このようにしてバイトシャンクをその軸方向にバイト刀先の振動状態が振動数 $f$ 、振幅 $a$ および振動数 $F$ 、振幅 $A$ となるように重畳振動させ、送り $S$ 22を与えて、旋盤主軸チャックに取り付けられて高速回転する切削速度 $v$ の工作物21を振動切削する。

第6図はそのときの切削部における回転中心軸に対する軸直角断面を示す図である。図示のように微細凸凹面の切削面となる。これを平面展開した図が第7図である。図において $A = 0$ 、 $a = 0$ の慣用切削のときの切刃の運動軌跡は $\overline{00'}$ の直線を示す。 $F \cdot A$ のみの場合には曲線 $A B C D$ を示し、工作物が一回転すると、切刃は $S$ だけ進み、曲線 $A' B' C' D'$ に移動し、斜線で示した面積 $A A' B B'$ に相当する部分をバイトの振動1サイクルの周期 $1/F$ の1/2の時間で切り屑として生成する。これに $f$ 、 $a$ を重畳して切削するときは、面積 $A A' B B'$

切削力 $P$ そのものの値が振動系の特性と等価的に摩擦抵抗が激減することなどの理由によって激減するため、実際には $F \cdot A$ のみのときに比べて1/2~1/5程度に工作物の変位量が激減し、超精密加工を可能とする。

本発明の他の実施例を上述の縦振動系バイトによるシステムに代って曲げ振動系バイトによる切削システムを第9図に示して説明する。

バイトシャンク25は超音波発振機33によって励振される。縦振動子29およびホーン28によって励振振動数20KHzで超音波振動する。高次の曲げ振動変態を示すシャンクの先端端面に取りつけた切刃チップ26は矢印38の方向に超音波振動する。この曲げ振動バイトシャンクを該シャンクに生ずるノード群のなかの2個所を利用してコ型金具27によってバイトホルダ32に締付ボルト31を用いて固定する。このバイトホルダに制御装置37によって駆動されるサーボ弁35および油圧装置36によって駆動されるアクチュエータ34よりなる電気-

油圧装置を連結する。この装置を旋盤往復台上に取り付けることによって、送りS30の方向にバイト刃先を振動数 $f$ 、振幅 $a$ 38に振動数 $F$ および振幅 $A$ 39を重ねさせて振動させることができる。工作物40を旋盤主軸にチャックして切削速度 $v$ 41で回転させて、これを上述の装置で切削する切削システムによって本発明を実施することができる。

第10図は切刃直角断面図を示すもので、本発明に使用するバイトは第6図と同様に逃げ角 $\beta$ を大きくとり、それにともなう刃先機械的強度の低下を防ぐために負のすくい角 $\alpha$ を特に設けて図示のような刃先形状のバイトを使用することも本発明の実施上の特徴である。

以上は第2図(d)のときの $\omega > \omega'$ 、 $\omega' < \omega_n$ の場合の実施例について説明したが、次に、第2図(c)のときの $\omega' > \omega$ 、 $\omega' \gg \omega_n$ の場合の実施例について説明する。このときの切削方法の電子は、ある振動数 $f$ をもって超音波振動する切削工具刃先を別のさらに高い振動数 $f'$

をもって振動させて切削することにある。具体的には、上述のように同一工具を $f$ および $f'$ をもって超音波振動させて切削する方法と、切削工具を $f$ あるいは $f'$ をもって振動させ、工作物を $f'$ あるいは $f$ をもって別々に超音波振動させて切削する方法の2通りに大別される。ここでは後者による方法について説明する。

バイトシャンク1は超音波発振機15および縦振動子4とホーン5とによって超音波域の高い振動数で超音波振動する。その先端に取り付けられている切刃チップ2は矢印3の方向に振動数 $f$ 、振幅 $a$ をもって超音波振動する。この縦振動系バイトシャンクを取り付けたバイトホルダ10を旋盤往復台上に図示のようにして取り付ける。工作物42は超音波発振機49および縦振動子44によって駆動される工作物取付治具でもある振幅拡大用ホーン43の先端に取付ける。この工作物を別途に設けた超音波発振機49を利用して超音波域の高い振動数 $f'$ および振幅 $a'$ で矢印45の方向に超音波振動さ

せる。そして、振幅拡大用ホーン43のノードを利用して、この縦振動系工作物を円筒状取付治具46に固定する。この円筒状取付治具46を旋盤主軸に取付けたチャック47にチャックして、矢印48の方向に高速回転させ、切削速度 $v$ 、送り $S$ をもって切削することによって本発明を実施することができる。

このときの切刃の運動軌跡は第7図と同様になる。第7図における、 $v/F$ は $v/f$ となり、 $v/f$ は $v/f'$ となる。

そして、 $P' = \frac{f'}{f} P \div \frac{1}{2} P$ となり、工作物の背分力方向の変位 $x = \frac{1}{2} \frac{f'}{f} \times \frac{P}{K} = \frac{1}{4} \cdot \frac{P}{K}$ となる。 $f' = 60 \text{ KHz}$ 、 $F = 20 \text{ KHz}$ という超音波域の高い振動数を利用する本発明によって主軸に取り付けた工作物振動系の $\omega_n = 2\pi \times (300 \sim 1000)$ は一般に低いので $\omega (=2\pi f) \gg \omega_n$ の条件を常に満し、 $200 \sim 300 \text{ m/min}$ の高速切削においても細かく寸断された微細切り屑を生成してパルス切削力を発生して精密切削が可能となる。このとき $t'c = \frac{1}{60.000} \times \frac{1}{2} S$ という極め

て短い切削時間で小刻みに切削すると、パルス切削力 $P$ そのものの値が振動系の特性と等価的に摩擦抵抗が激減することなどの要因によって激減するため、実際には振動数 $f$ 、振幅 $a$ のみで振動切削したときの $1/2 \sim 1/5$ 程度に工作物の変位量が激減し、超精密加工を可能とする。

以上、バイトによる円筒表面の加工例と端面加工例によって本発明の実施例を説明したが、本発明はこの外にバイトによる内面加工、およびその切刃構成がバイトの切刃構成の連続によると考えられるドリル、リーマ、エンドミルによる穴加工にも適用される。すなわち、ドリル、リーマ、エンドミルなどの切削工具をその工具シャンク軸方向に超音波振動または低周波振動、あるいは工作物を振動させて重畳し主軸を高速回転させて重畳振動高速切削することができる。さらに、円筒状シャンクの端面および表面に天然ダイヤモンド砥粒あるいは人造ダイヤモンド砥粒、ボラゾン砥粒を固定して形成した固定砥粒による研削工具にも同じ要領で本発明を適用

し、実施することができる。平面加工への実施は回転する切削・研削工具をその背分力方向に超音波振動あるいは低周波振動させこれらを重畳させることによって本発明が実施される。

(効果)

第4図の場合、 $\alpha = 30^\circ$ 、 $\beta = 45^\circ$ の超硬チップを先端に設けたバイトシャンクをバイトシャンクの軸方向に振動数  $f = 21.7 \text{ KHz}$ 、振幅  $a = 16 \mu\text{m}$  で超音波縦振動させ、ステンレス鋼 SUS 304、直径  $40 \text{ mm}$ 、長さ  $100 \text{ mm}$  の工作物を旋盤主軸回転数  $1500 \text{ r.p.m}$  で回転させ、その背分力方向の超音波振動となるようにその刃先とセンタバイトとを一致させて第3図のように取付け、これを電気-油圧装置を利用して振動数  $F = 50 \text{ Hz}$ 、振幅  $A = 0.2 \text{ mm}$  で低周波振動させて切削速度  $200 \text{ m/min}$  で回転するステンレス鋼工作物を送り  $0.05 \text{ mm/rev}$ 、切込み  $0.5 \text{ mm}$ 、水溶性切削油剤を使用する切削条件で切削することによって、その切削抵抗は普通切削の約  $1/5 \sim 1/10$  に激減し、普通切削では連続する

切り屑が針状のばらばらな切り屑にその形状が変化して、さらに高温に加熱されないために酸化変色がなく、ばりも少いので切り屑の処理が容易となり、一方、工具寿命も2倍以上延び、また、設定どおりの切込みとなり、真円度、円筒度も向上し、加工時間を著しく短縮して超精密円筒加工を可能ならしめるという画期的効果をうることに成功した。

また、一方、最近の新しい素材で難削材の強化プラスチック材やセラミックスの精密円筒加工をも可能とする画期的効果も得られる。

次に第11図の場合、外径  $20 \text{ mm}$ 、肉厚  $3 \text{ mm}$ 、長さ  $10 \text{ mm}$  のシリコンナイトライドのセラミックスを振動数  $f' = 60 \text{ KHz}$ 、振幅  $a' = 8 \mu\text{m}$  で超音波縦振動させ、これを空気軸受を用いた主軸にとりつけ、直流電動機でベルト駆動して  $200 \text{ m/min}$  の高速切削速度で回転させ、 $\alpha = 30^\circ$ 、 $\beta = 45^\circ$  のダイヤモンドバイトを先端に設けたバイトシャンクをバイトシャンクの軸方向に振動数  $f = 20 \text{ KHz}$ 、振幅  $a = 16 \mu\text{m}$  で

超音波縦振動させ、送りを  $0.02 \text{ mm/rev}$  とし水溶性切削油剤を用いて本発明の重畳振動高速切削を実施することによって、切削抵抗を振動数  $f$  および振幅  $a$  あるいは振動数  $f'$  および振幅  $a'$  のみの場合の約  $1/5$  程度に激減させ、ダイヤモンド切刃のチップング折損を皆無にしてその工具寿命を延ばし、切削時間を従来の振動切削に比べて約  $1/5$  に短縮することができた。

以上説明したように、切削速度  $v < 2\pi af$  として制限があって高速切削ができなかった従来の振動切削に比べて本発明は  $200 \text{ m/min} \sim 300 \text{ m/min} \sim 500 \text{ m/min}$  という高速切削を可能にし、パルス切削力波形を作用させて精密切削を可能ならしめ、切削時間を短縮して切削能率を向上させることができるという効果を有するものである。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は旋削加工におけるバイト-工作物振動系のモデル図、第2図は普通切削の切削力波形と従来の振動切削のときの連続パルス切削力

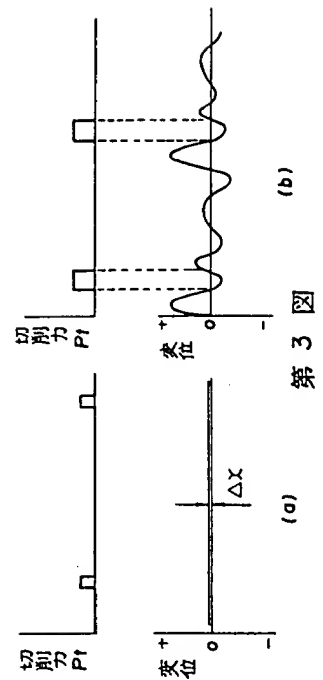
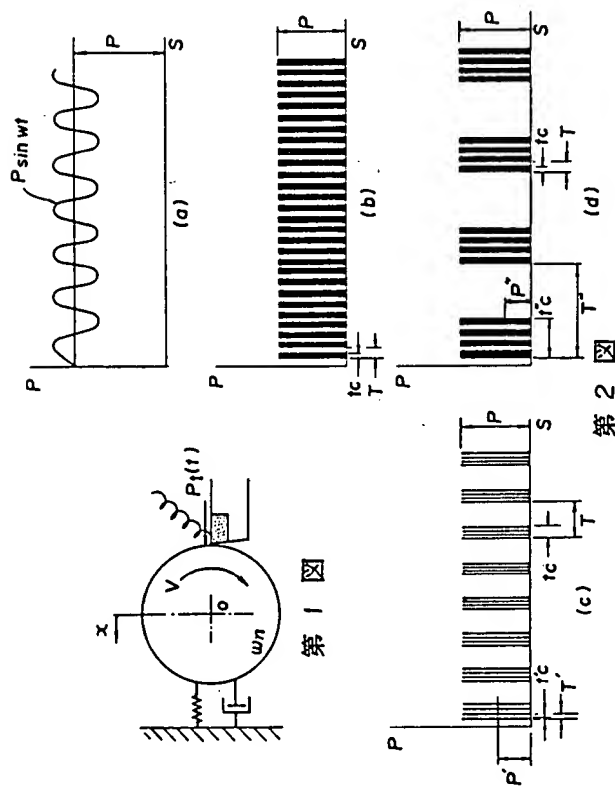
波形と本発明の実施によって発生する2種類の断続パルス切削力波形を示す図、第3図は断続パルス切削力波形が作用したときの工作物の変位を示す図、第4図は本発明を旋削に実施するときの装置の上面図、第5図は該装置のバイトシャンク方向の断面側面図、第6図は本発明を実施して切削中の切刃を含む工作物軸直角方向断面図、第7図は本発明の実施による切刃の運動軌跡を示し、振動1サイクルで工作物を小刻みに切削して切り屑を寸微粉化して切削し第2図(d)に示した断続パルス切削力波形を作用させて高速切削する状態を説明する図、第8図はそのときの断続パルス切削力波形を示す図、第9図は曲げ振動系バイトで本発明を実施するときの装置の平面図、第10図はそのときの切削面の状態を説明するために示す切刃に直角方向の断面図、第11図は本発明の他の実施例を示す図で工作物を縦超音波振動させ、これを高速回転させ、バイトを背分力方向の該バイトシャンクの縦方向に超音波振動させて重畳振動高

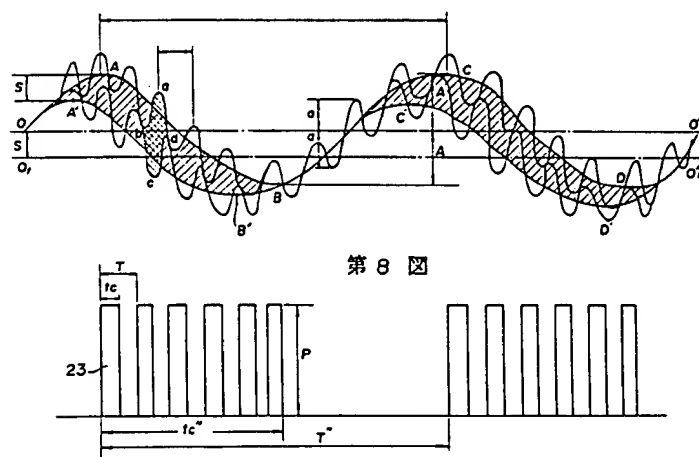
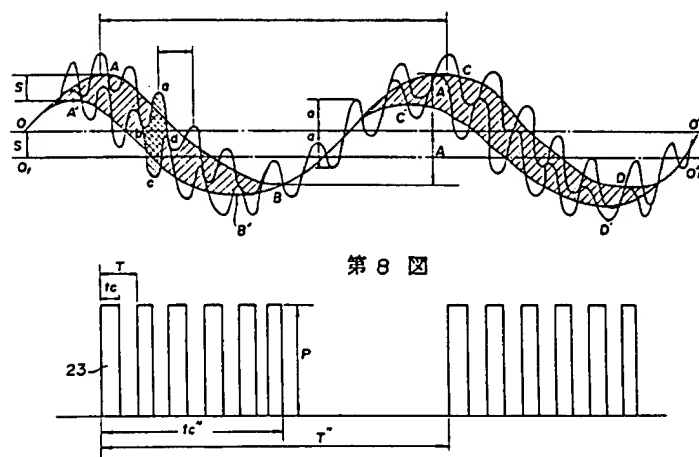
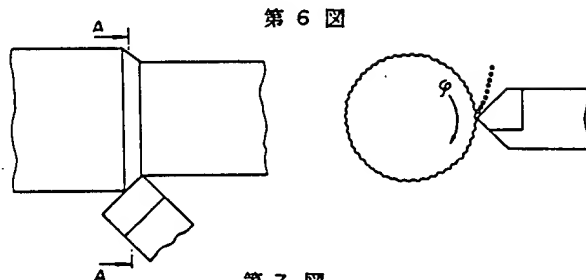
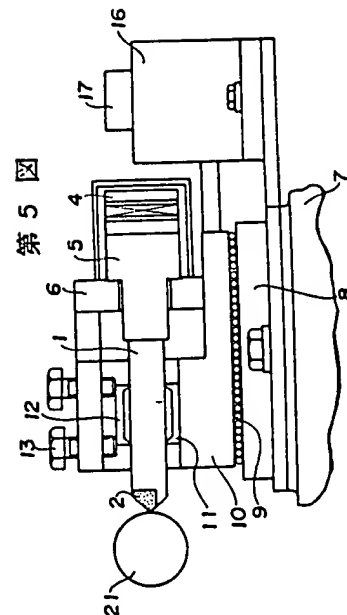
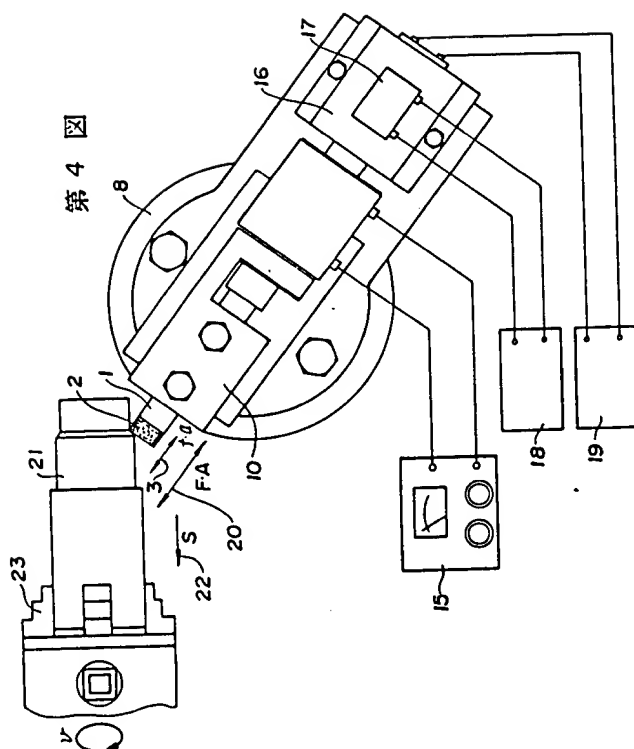
速切削する装置の上面図である。

- 1 … 縦超音波振動系バイト
- 3 … 背分力方向超音波振動  $f, a$
- 15 … 20 kHz 超音波発振機
- 20 … 背分力方向低周波振動  $F, A$
- 23 … 断続パルス切削力波形
- 25 … 曲げ振動系バイト
- 33 … 60 KHz 超音波発振機
- 41 … 高速切削速度

特 許 出 願 人      限 部      淳 一 郎

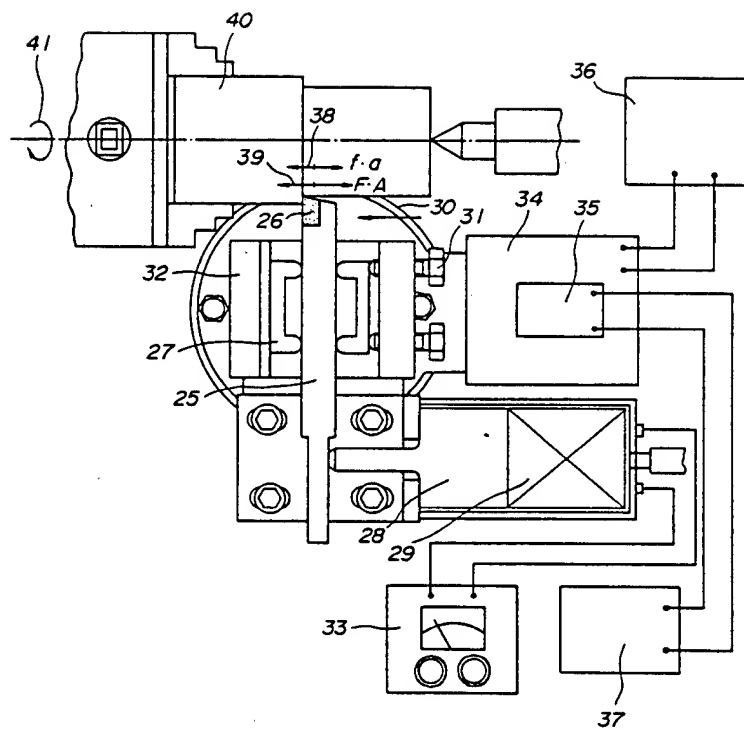
代 理 人      伊 東 貞







第 9 図



第 10 図

